

4. Камера нагрева 2 для нагрева рельсов до технологически требуемой температуры до 900 °С за счет сжигания природного газа с применением высокоскоростных горелок и системы импульсного управления горением;

5. Камера выдержки для выравнивания температур по сечению и длине с заданной точностью;

6. Камера выгрузки для передачи рельс поштучно на рольганг перед закалочной машиной.

Планируется выполнение теплотехнических расчетов для реализации заданного графика нагрева рельсов, подбор газогорелочных устройств, запорно-регулирующей арматуры, вентиляторов воздуха горения, аппаратно-технических средств и программных продуктов АСУТП. Кроме того, планируется создание 3D модели печи с помощью систем трехмерного моделирования.

Окончательные технические решения будут приняты по результатам математического моделирования процессов нагрева рельсов.

Результатами технического перевооружения являются:

- повышение КПД печи, при помощи утилизации теплоты от дымовых газов;
- минимизация окалинообразования;
- повышение равномерности нагрева рельсов. Допустимый перепад температуры по сечению рельса не более ± 5 °С.

Список использованных источников

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей: учеб. пособие для металлург. специальностей вузов / Под общ. ред. канд. техн. наук А. С. Телегина Изд. 3, перер. и доп. – М.: Металлургия, 1983. – 368 с.

2. Зобнин Б.Ф. Нагревательные печи / Б.Ф. Зобнин. – М.: Машиностроение, 1964. – 311 с.

УДК 621.783+669.3.055

А. Д. Романова, М. Д. Казяев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ КАМЕРНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОЛСТОГО СТАЛЬНОГО ЛИСТА

Аннотация. Термическая обработка машиностроительной продукции производится, в основном, в камерных печах. Для получения равномерного нагрева изделий применяют двухстороннее, двухъярусное отопление рабочего пространства печей горелками. В современных печах используют скоростные рекуперативные горелки. В представленной

работе применены боковые и сводовые рекуперативные горелки для обеспечения равномерного нагрева листовой продукции.

Ключевые слова: камерная печь, комбинированная схема отопления, рекуперативная горелка, расчет нагрева металла, расчет теплового баланса.

Abstract. Heat treatment of machine-building products is mainly carried out in chamber furnaces. To obtain uniform heating of the products, two-way, two-tier heating of the working space of the furnaces with burners is used. In modern furnaces, high-speed recuperative burners are used. In the presented work, side and arch recuperative burners are used to ensure uniform heating of sheet products.

Key words: chamber furnace, combined heating scheme, recuperative burner, calculation of metal heating, calculation of heat balance.

В машиностроении широко используют камерные печи для термообработки металлической продукции [1].

Нагрев массивной заготовки металла, одновременно помещенной в рабочее пространство печи, осуществляется, как правило, от холодного состояния печи. При этом, несмотря на изменяющуюся температуру рабочего пространства, равномерность нагрева металла необходимо выдерживать во всем его объеме, как при подъеме температуры печи, так и при выдержке [2].

При термообработке заготовок в печи с изменяющейся рабочей температурой выдержка производится для выравнивания температуры по поверхности и по сечению нагреваемых изделий, а также для получения требуемой структуры металла.

Особые требования к нагреву предъявляют при термообработке листовой продукции.

Это связано, прежде всего, с тем, что листы имеют значительную поверхность теплообмена, на которой необходимо обеспечить одинаковую плотность теплового потока.

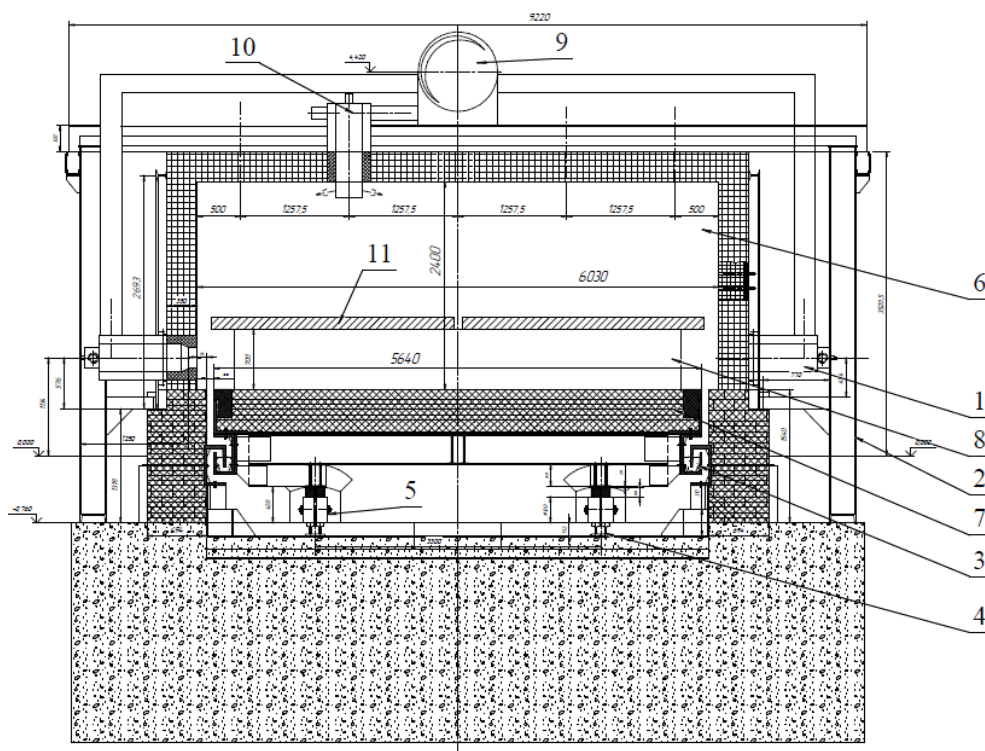
В машиностроении термообработка стального листа обычно осуществляется в горизонтальных камерных печах, наибольшим размером которых является длина печи [4].

В представленной статье рассматривается конструкция камерной печи для термообработки толстого листа с выдвижным подом, с комбинированной схемой отопления рекуперативными горелками, работающими на природном газе.

На рисунке 1 представлен поперечный разрез упомянутой выше конструкции печи.

Нагреваемый лист располагается на массивных стальных подставках. Горелки на боковых стенках печи размещены в шахматном порядке и создают горизонтальное струйное истечение факелов между подставками. При этом образуются зоны циркуляции газов в нижней части рабочего пространства, обеспечивающие выравнивание температурного поля нижней поверхности нагреваемого листа.

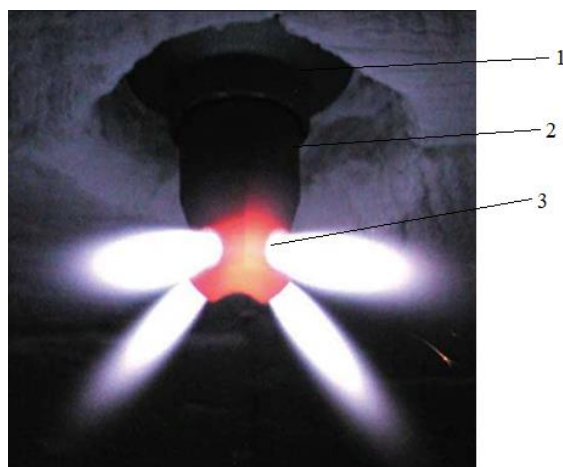
В этой части печи осуществляется как лучистый теплообмен от газов и кладки пода, так и интенсивный конвективный теплообмен.



- 1 – нижняя горелка; 2 – каркас печи; 3 – песочный затвор; 4 – рельсовый путь;
 5 – ходовая часть пода; 6 – рабочее пространство печи; 7 – под; 8 – подставки;
 9 – общий сборный дымопровод; 10 – верхние рекуперативные горелки;
 11 – нагреваемый стальной лист.

Рис. 1. Поперечный разрез камерной печи с выдвижным подом и комбинированной схемой отопления

В верхней части печи, имеющей значительное свободное пространство над листом, осуществляется преимущественно лучистый теплообмен от свода, на котором установлены рекуперативные горелки новой конструкции немецкой фирмы «WS».



- 1 – свод печи; 2 – керамический корпус; 3 – радиальные факела, распространяющиеся вдоль поверхности свода.

Рис. 2. Сводовая рекуперативная горелка фирмы «WS»

Работа этой горелки показана на рисунке 2, из которого видно, что горящие факела распространяются по поверхности свода, выходя из радиальных отверстий в керамической камере предварительного ступенчатого сжигания газа.

Центральная часть камеры предназначена для отвода продуктов сгорания из печи, с помощью обычной рекуперативной горелки, установленной в керамическую камеру.

Для предложенной конструкции печи приведен расчет тепловой работы при нагреве двух стальных листов размером каждого: длина – 7 м, ширина – 2,8 м, толщина – 0,13 м.

При этом печь отапливается природным газом с теплотой сгорания $Q_H^p = 34\,500 \text{ кДж/м}^3$, при температуре подогретого воздуха в рекуперативных горелках $t_b = 400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Листы нагреваются от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $950 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рабочее пространство печи сконструировано размерами:

- длина $L_{p.п} = 7,52 \text{ м}$;
- ширина $D_{p.п} = 6,03 \text{ м}$;
- высота $H_{p.п} = 2,4 \text{ м}$.

Расчет нагрева металла произведен при совместном решении уравнений внешнего лучистого и конвективного теплообмена и дифференциального уравнения теплопроводности в критериальной форме при граничных условиях 3-го рода [5].

Методика расчета представлена уравнениями, приведенными ниже:

$$\bar{q}_{м.л.} = C_{г.к.м.} \left[\left(\frac{\bar{T}_г}{100} \right)^4 - \left(\frac{\bar{T}_{пов}}{100} \right)^4 \right] \varphi_{м.ст}; \quad (1)$$

$$\bar{q}_{м.к.} = \bar{\alpha}_к \cdot (\bar{t}_г - \bar{t}_п); \quad (2)$$

$$\bar{q}_{м.с.} = \bar{q}_{м.л.} + \bar{q}_{м.к.}; \quad (3)$$

$$\bar{\alpha}_с = \frac{\bar{q}_{м.с.}}{\bar{t}_г - \bar{t}_п}; \quad (4)$$

$$\tau_{нагр.} = \frac{V_m \cdot c_m \cdot \rho_m \cdot \Delta t_m}{F'_m \cdot \bar{q}_{м.с.}}; \quad (5)$$

$$Fo = \frac{a \cdot \tau_{нагр.}}{\left(\frac{s}{2} \right)^2}; \quad (6)$$

$$Bi = \frac{\bar{\alpha}_с \cdot \frac{s}{2}}{\lambda_m}; \quad (7)$$

$$\theta_{с.кон} = N \cdot e^{-\mu^2 \cdot Fo}; \quad (8)$$

$$\theta_{п.кон} = P \cdot e^{-\mu^2 \cdot Fo}. \quad (9)$$

При заданной расчетной конечной температуре нагрева поверхности листа $t_{п.кон}$ определены конечная температура середины листа $t_{с.кон}$ и перепад температур поверхности и середины листа $\Delta t_{кон}$, по которому рассчитывали

время теплотехнической выдержки металла в печи при решении дифференциального уравнения при граничных условиях 1-го рода [6].

Расчет теплового баланса, произведенный за время подъема температуры печи [7], показал значительные затраты теплоты на нагрев приспособлений (массивные подставки) – 13 % и на аккумуляцию теплоты футеровкой печи – 24 % при полезно-затраченной теплоте на нагрев металла – 29 %.

Полученный удельный расход топлива за время подъема температуры составил $b = 54$ кг у.т/т. при коэффициенте полезного действия $\eta = 29$ %.

Для камерной печи с изменяющейся рабочей температурой полученные основные показатели тепловой работы являются вполне удовлетворительными.

При наличии длительных выдержек металла с целью получения требуемой по технологии термообработки структуры, приведенные показатели работы печи будут ухудшаться в пересчете на полное время тепловой обработки металла.

Следовательно, чем быстрее и равномернее будет производиться нагрев металла, тем меньше время потребуется для выполнения технологической выдержки, и значит, будет происходить экономия топлива и уменьшаться нежелательные выбросы вредных и парниковых газов в атмосферу.

В заключение необходимо отметить, что результаты тепловой работы зависят, прежде всего, от совершенства конструкции печи, что и выполнено в данной работе.

Список использованных источников

1. Зобнин Б.Ф. Нагревательные печи / Б.Ф. Зобнин. – М.: Машиностроение, 1964. – 311 с.
2. Теплотехнические расчеты металлургических печей: учеб. пособие для металлург. специальностей вузов / Под общ. ред. канд. техн. наук А. С. Телегина. Изд. 3, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1983. – 368 с.
3. Эйсмонт Ю.Г. Оборудование термических цехов: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Металлургия»: в 3 т. / Ю.Г. Эйсмонт, В.А. Хотинов, М.В. Майсурадзе. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 188 с.
4. Кривандин В.А. Тепловая работа и конструкции печей черной металлургии: учебник для вузов по специальности "Теплофизика, автоматизация и экология тепловых агрегатов в металлургии" и "Металлургия черных металлов" / В.А. Кривандин, А.В. Егоров. – М.: Металлургия, 1989. – 463 с.
5. Иванцов Г.П. Нагрев металла: теория и методы расчета / Г.П. Иванцов; Под ред. и с доб. Д.В. Будрина. – Свердловск; Москва: изд-во и тип. Металлургиздата, 1948 (Свердловск: 5-я тип. треста «Полиграфкнига»). – 192 с.
6. Телегин А.С. Тепломассоперенос: учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению «Металлургия» и специальности «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей» / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко; Под ред. Ю.Г. Ярошенко. – 2. изд., перераб. и доп. – М.: Академкнига, 2002. – 456 с.

7. Гусовский В.Л. Методики расчета нагревательных и термических печей: учеб.-справочное изд. / В.Л. Гусовский, А.Е. Лифшиц. – М.: Теплотехник, 2004. – 296 с.

УДК 621.783.231

В. Д. Романовских, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМИ БАЛКАМИ ТАГАНРОГСКОГО ТРУБНОГО ЗАВОДА

Аннотация. *Металлургический комплекс сегодня играет определяющую роль в формировании макроэкономических показателей всей страны. Предприятия комплекса производят 30 % промышленной продукции, обеспечивают более четверти всего ВВП страны, приносят больше 40 % общего объема валютной выручки.*

Развитие металлургии предусматривает техническое перевооружение, уменьшение энергоемкости производства, реконструкцию и автоматизацию действующих агрегатов с целью повышения производительности и улучшения – условий труда. Стоимость и качество металлургической продукции в значительной мере определяются совершенствованием оборудования и технологии доменного производства – непрерывного и наиболее энергоёмкого технологического процесса в отрасли.

Ключевые слова: *печь с шагающими балками, реконструкция печи, горелочное устройство.*

Abstract: *The metallurgical complex today plays a decisive role in the formation of macroeconomic indicators for the entire country. The enterprises of the complex produce 30% of industrial products, provide more than a quarter of the country's total GDP, and bring more than 40% of the total volume of foreign exchange earnings.*

The development of metallurgy provides for technical re-equipment, reducing the energy intensity of production, reconstruction and automation of existing units in order to increase productivity and improve working conditions. The cost and quality of metallurgical products are largely determined by the improvement of equipment and technology of blast-furnace production - a continuous and most energy-intensive technological process in the industry.

Key words: *walking beam oven, furnace reconstruction, burner.*

Таганрогский металлургический завод основан в 1896 г. российское металлургическое предприятие, одно из крупнейших трубных предприятий России. Относится к трубным заводам «Большой восьмёрки». Специализируется на производстве стали и труб. Входит в состав Трубной металлургической компании. Предприятие выпускает трубы, используемые в добыче, транспортировке и переработке углеводородов, а также для коммунального хозяйства, машиностроения и строительства. ТАГМЕТ выпускает более 930 тысяч тонн стальных труб в год. Около трети выпускаемой продукции направляется на экспорт.

Основные параметры оборудования. Подогревательная ПШБ перед редуционно-растяжным станом предназначена для подогрева трубных